

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
15. Februar 2001 (15.02.2001)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 01/11408 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: G02B 21/00,
G11B 11/105, G03F 7/20

20, D-90587 Veitsbronn (DE). EBERLER, Manfred
[DE/DE]; Almstrasse 3, D-91171 Greding (DE). LEV-
ENSON, Marc, D. [US/US]; 19868 Bonnie Ridge Way,
Saratoga, CA 95070 (US).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP00/07672

(22) Internationales Anmeldedatum:
8. August 2000 (08.08.2000)

(74) Anwälte: TORGGLER, Paul usw.; Wilhelm-Greilstrasse
16, A-6020 Innsbruck (AT).

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(81) Bestimmungsstaaten (*national*): JP, US.

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(84) Bestimmungsstaaten (*regional*): europäisches Patent (AT,
BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC,
NL, PT, SE).

(30) Angaben zur Priorität:
A 1364/99 9. August 1999 (09.08.1999) AT

Veröffentlicht:

- Mit internationalem Recherchenbericht.
- Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche geltenden
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt, falls Änderungen
eintreffen.

(71) Anmelder und

(72) Erfinder: LEUCHS, Gerhard [DE/DE]; Langenlohe 7,
D-91369 Wiesenthau (DE).

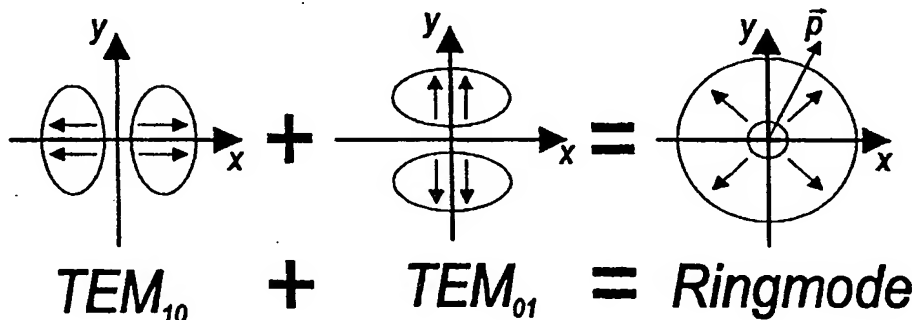
(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): QUABIS, Susanne
[DE/DE]; Lichtenradeweg 24, D-30179 Hannover (DE).
DORN, Ralf [DE/DE]; Peterstrasse 61, D-90478 Nürn-
berg (DE). GLÖCKL, Oliver [DE/DE]; Kreppendorf

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes, und der anderen
Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on
Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe
der PCT-Gazette verwiesen.

(54) Title: DEVICE FOR FOCUSsing LIGHT ONTO AN OBJECT

(54) Bezeichnung: EINRICHTUNG ZUM FOKUSSIEREN VON LICHT AUF EIN OBJEKT



(57) Abstract: The invention relates to a device for focussing light onto an object. Said device comprises at least one light source that is preferably formed by a laser. The inventive device also comprises at least one optical focussing element and a device for fixing the relative position of the focussing element and the object. The light which is sent through the focussing element is present in the form of a radially polarised ring mode.

(57) Zusammenfassung: Einrichtung zum Fokussieren von Licht auf ein Objekt, mit mindestens einer vorzugsweise von einem Laser gebildeten Lichtquelle, mit wenigstens einem optischen Fokussierelement und einer Einrichtung zum Festlegen der relativen Lage von Fokussierelement und Objekt, wobei das durch das Fokussierelement gesandte Licht in Form einer radial polarisierten Ringmode vorliegt.

WO 01/11408 A1

Einrichtung zum Fokussieren von Licht auf ein Objekt

Die Erfindung betrifft eine Einrichtung zum Fokussieren von Licht auf ein Objekt, mit mindestens einer vorzugsweise von einem Laser gebildeten Lichtquelle, mit
5 wenigstens einem optischen Fokussierelement und einer Einrichtung zum Festlegen der relativen Lage von Fokussierelement und Objekt.

Bei einer Vielzahl von optischen Anwendungen, insbesondere im Bereich Mikroskopie, Lithographie und optische bzw. magneto-optische Datenspeicherung ist es
10 wünschenswert, Licht auf einer möglichst kleinen Fläche konzentrieren zu können. (Der Begriff „optisch“ bezieht sich dabei auf alle Arten elektromagnetischer Strahlung einschließlich sichtbares Licht, infrarote und ultraviolette Strahlung.)

Bei optischen und magneto-optischen Datenspeicherverfahren wird die
15 Aufzeichnungsdichte im wesentlichen durch die Größe des auf das Medium fokussierten Brennflecks beschränkt. Wie allgemein bekannt ist, gilt für den Durchmesser dieses Brennflecks näherungsweise der Zusammenhang $\text{Durchmesser} = g \cdot \lambda / \text{NA}$, wobei λ die Wellenlänge des verwendeten Lichts bezeichnet und NA für die numerische Apertur der fokussierenden Optik steht. g hat für eine homogene
20 Beleuchtung der Eintrittspupille der fokussierenden Optik den Wert 1,22. Um den Brennfleckdurchmesser zu verkleinern gibt es daher mehrere Möglichkeiten:
Man kann die Wellenlänge λ durch den Einsatz neuer Laserlichtquellen verkleinern. Konventionelle CD Schreib-Lesegeräte werden bei einer Wellenlänge von 780nm betrieben, bei DVDs verwendet man eine Wellenlänge von 635nm. Die Kosten für
25 Laserdioden, die Licht mit noch kürzerer Wellenlänge, bevorzugt im blauen Spektralbereich, emittieren, verhindern bisher den Einsatz in Geräten für den Massenmarkt.

Ein anderer Ansatzpunkt zielt darauf ab, die numerische Apertur NA zu erhöhen.
30 Dies kann auf mehrere Arten bewerkstelligt werden:
Beleuchtet man das Objekt durch eine kleine Blende, deren Ausdehnung kleiner als die Beleuchtungswellenlänge ist, so enthält das Winkelspektrum des austretenden Lichts auch Wellen mit imaginärem Wellenvektor. Im Fernfeld sind diese

nichtpropagierenden (evaneszenten) Anteile vernachlässigbar, da ihre Amplitude mit zunehmendem Abstand von der Blende exponentiell abfällt. Man findet dort näherungsweise die Feldverteilung eines Dipols vor. In einem Abstand von der Blende, der kleiner als die Beleuchtungswellenlänge ist, kann der Anteil der evaneszenten Wellen am Gesamtfeld nicht vernachlässigt werden und führt dazu, daß die Größe der Blende im wesentlichen den Bereich bestimmt, in dem das Licht konzentriert ist. Die Anwendbarkeit dieses Verfahrens für die optische Datenspeicherung wurde u.a. von E. Betzig, M. Isaacson und A. Lewis (Appl. Phys. Lett. 61, 142-144, 1992) demonstriert. In einer anderen Variante (siehe Patent WO 98/18122) wird das Licht an die Spitze zweier gekreuzter, spitz zulaufender Prismen geführt, die am Ende einen Austrittsschlitz besitzen, dessen Breite kleiner als die halbe Wellenlänge ist.

Da die numerische Apertur als $NA = n \cdot \sin(q)$ definiert ist (q = halber Öffnungswinkel des fokussierenden Objektivs) kann man auch den Brechungsindex n des Mediums, in das hineinfokussiert wird, erhöhen. Dies wird seit langem bei sog. Immersionsmikroskopen durch die Zugabe von hochbrechendem Immersionsöl zwischen Objektiv und untersuchtem Objekt ausgenutzt. Bei optischen und magneto-optischen Datenspeichern, bei denen sich der Schreib-Lesekopf relativ zum Speichermedium bewegt, kann dieses Verfahren nicht angewendet werden.

Allerdings ist es möglich, das Licht in ein hochbrechendes Medium zu fokussieren, so daß sich der Fokus an der Grenzfläche zwischen diesem und einem dahinter liegenden optisch dünneren Medium befindet. Der Vorteil einer aufgrund der hohen Brechkraft des Mediums verkleinerten Brennfleckgröße geht aber nach Eintritt des Lichts in das optisch dünnere Medium wieder verloren. Wie bei dem oben beschriebenen Verfahren, das als Lichtquelle eine sub- λ -Öffnung verwendet, bleibt das Licht jedoch innerhalb eines Abstandes kleiner als die Lichtwellenlänge auf einen verkleinerten Brennfleck reduziert. Man muß deshalb dafür Sorge tragen, daß sich das zu beleuchtende Medium innerhalb dieses Bereichs befindet. Wird die Geometrie des hochbrechenden Mediums in Form einer Halbkugel gewählt und die flache Seite dem zu beleuchtenden Medium zugewandt, so kann diese sog. Solid Immersion Lens (SIL) ohne weitere Aberrationen zu verursachen in den Strahlengang eines fokussierenden Objektivs eingebracht werden (siehe dazu auch US-Patent 5,125,750).

Schließlich kann man durch Ausnutzen von nichtlinearen Effekten eine Verkleinerung der effektiv auf einem auszulesenden Speichermedium wirksamen Brennfleckgröße erreichen. Ist beispielsweise die Reflektivität des Mediums von seiner Temperatur abhängig (Phasenübergang zwischen fester und flüssiger Phase) so befindet sich der bereits ausgelesene und damit stark erwärmte Teil des Mediums im geschmolzenen (d.h. schwach reflektierenden) Zustand. Im Bereich des Brennflecks ist dann nur der noch nicht ausgelesene Teil in der Lage, das Licht stark ("1"-Bit) oder schwach ("0"-Bit) zu reflektieren. (siehe Gijs Bouwhuis and J.H.M. Spruit, Appl. Opt. Vol. 29(1990) pp. 3766-3768; Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 32 (1993) pp. 5210-5213

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Apparatur zur Verfügung zu stellen, mit deren Hilfe Licht auf weiter unten näher beschriebene Objekte fokussiert werden kann, wobei die Brennfleckgröße im Vergleich zu beugungsbegrenzten, herkömmlichen Beleuchtungssystemen reduziert ist.

Erfindungsgemäß wird dies dadurch erreicht, daß das durch das Fokussierelement gesandte Licht in Form einer radial polarisierten Ringmode vorliegt. Die Grundidee besteht also nicht in erster Linie in einer Verkürzung der Wellenlänge des fokussierten Lichts oder eine Erhöhung der numerischen Apertur des beleuchtenden optischen Systems mit Hilfe von Immersions- oder Nahfeldtechniken, sondern durch die Modifikation der zu fokussierenden Feldverteilung hinsichtlich ihrer Polarisations- und Intensitätsverteilung. Es wird eine radial polarisierte Ringmode benutzt, die nach der Fokussierung - verglichen mit einem linear polarisierten Strahl mit homogener Intensitätsverteilung - eine halb so große Brennfleckgröße aufweist. Je nach beleuchtetem Objekt ergeben sich verschiedene Ausführungsformen, die weiter unten detailliert beschrieben werden. Für Anwendungen in der Lithographie besteht das Objekt aus einem bevorzugt aus Silizium gefertigten Trägermaterial, auf das eine lichtempfindliche Schicht aufgebracht ist. Für Anwendungen im Bereich der Mikroskopie wird eine zu untersuchende Probe punktweise beleuchtet und abgerastert. Bei einer weiteren Ausführungsform als Datenspeichersystem besteht das beleuchtete Objekt aus einem optischen bzw. magneto-optischen Speichermedium.

Zum Zwecke der Reparatur von Photomasken wird am Ort des Brennflecks gezielt Material verdampft oder abgeschieden. Allgemein kann die vorliegende Erfindung überall dort eingesetzt werden, wo Licht auf einen möglichst kleinen Bereich fokussiert werden soll.

5

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Zeichnungen näher erläutert.

Abb. 1: Intensitätsverteilung einer radial polarisierten Ringmode als Funktion des Abstandes ρ von der Symmetrieachse.

- 10 Abb. 2: Durch die Überlagerung zweier orthogonal polarisierter TEM_{01} - und TEM_{10} -Moden läßt sich eine radial polarisierte Ringmode erzeugen. Die Pfeile deuten die Polarisationsrichtung an.

Abb. 3: Eine kollimierte radial polarisierte Ringmode wird mit Hilfe einer Linse der Brennweite f fokussiert.

- 15 Abb. 4: Vor der Fokussierung wird ein Teil der radial polarisierten Ringmode mittels einer in den Strahlengang eingebrachten Ringblende ausgeblendet.

Abb. 5: Abhängigkeit der Brennfleckfläche von der NA des fokussierenden Elements für homogene, linear polarisierte Feldverteilung und radial polarisierte Ringmode, jeweils mit und ohne Ringblende.

- 20 Abb. 6: Schematischer Aufbau eines optischen Datenspeichersystems, bei dem eine Lichtquelle benutzt wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt.

Abb. 7: Schematischer Aufbau eines Lithographiesystems, bei dem eine Lichtquelle benutzt wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt.

- 25 Abb. 8: Schematischer Aufbau eines zur Reparatur von lithographischen Masken geeigneten Systems, bei dem eine Lichtquelle benutzt wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt.

Abb. 9: Schematischer Aufbau eines konfokalen Mikroskops, bei dem eine Lichtquelle benutzt wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt.

Abb. 10 Schematischer Aufbau zur Erzeugung einer radial polarisierten Ringmode

- 30 Abb. 11 Teilabbildung b) zeigt den schematischen Aufbau eines Polarisationskonverters, der aus vier Halbwellenplatten gefertigt ist. Die Hauptachsen sind durch Linien angedeutet.

Teilabbildung a) und c) zeigen den Polarisationszustand des Lichts vor (a) und nach (b) dem Durchgang durch den Polarisationskonverter.

Abb. 12 Schematischer Aufbau eines optischen Systems zur Beleuchtung eines Objekts mit Hilfe einer Immersionslinse, die die Brennfleckfläche einer durch ein
5 optisches Fokussierelement vorfokussierten radial polarisierten Ringmode weiter reduziert.

Abb. 13 Schematischer Aufbau eines optischen Systems zur evaneszenten Beleuchtung eines Objekt mit Hilfe einer als Resonator wirkenden hochreflektierend beschichteten Immersionslinse.

10 Abb. 14 Schematischer Aufbau eines Resonators, bei dem Licht an der Basis eines Prismas teilweise reflektiert und teilweise auf ein Objekt ausgekoppelt wird und zugehörige Beleuchtungseinrichtung.

Abb. 15 Schematischer Aufbau eines Lasersystems, bei dem der Strahlengang so verläuft, daß das Licht an der Basisfläche eines Prismas teilweise reflektiert und
15 teilweise auf ein Objekt ausgekoppelt wird.

Abb. 16 Schematischer Aufbau eines Resonators, bei dem Licht in einer Glasfaser geführt und an einer Stelle der Faser teilweise auf ein Objekt ausgekoppelt wird und zugehörige Beleuchtungseinrichtung.

Abb. 17 Schematischer Aufbau eines Resonators, der in Form einer zweidimensionale
20 Wellenleiterstruktur ausgeführt ist mit zugehöriger Beleuchtungseinrichtung.

Unter einer radialpolarisierten Ringmode wird in dieser Patentschrift eine elektromagnetische Feldverteilung mit folgenden Kennzeichen verstanden:

- Elektrisches und magnetisches Feld zeigen bezüglich einer durch die
25 Ausbreitungsrichtung festgelegten Achse radiale Symmetrie.
- Die Feldstärke nimmt auf der Symmetrieachse einen nicht wesentlich von Null verschiedenen Wert an und hat ein oder mehrere Intensitätsmaxima in festen Abständen R_0, R_1, \dots von der Symmetrieachse (siehe Abb. 1).
- Das elektrische Feld ist lokal jeweils in einer radial zur Symmetrieachse liegenden
30 Richtung linear polarisiert.
- In einer beliebigen, senkrecht zur Symmetrieachse liegende Ebene hat die Phase für alle Punkte, die den selben Abstand zur Symmetrieachse haben, den gleichen Wert.

Eine solche Feldverteilung läßt sich z.B. durch die Überlagerung zweier orthogonal polarisierter TEM_{0m} - und TEM_{m0} -Moden erzeugen (m ungerade). Eine besonders geeignete Mode ergibt sich durch die Überlagerung einer in x-Richtung polarisierten

5 TEM_{10} - und einer in y-Richtung polarisierten TEM_{01} -Mode (siehe Abb. 2).

$$\text{Ringmode} = \text{in x-Richtung polarisierte } TEM_{10}\text{-Mode} + \text{in y-Richtung polarisierte } TEM_{01}\text{-Mode}$$

10
$$\vec{E}(x,y) \propto \vec{e}_x \cdot x e^{-(x^2+y^2)/w^2} + \vec{e}_y \cdot y e^{-(x^2+y^2)/w^2}$$

$$\vec{E}_{\text{Ringmode}}(x,y) \propto \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} e^{-(x^2+y^2)/w^2} = \vec{r} \rho e^{-\rho^2/w^2}$$

Ein eleganter Aufbau, um eine radialpolarisierte Ringmode zu erzeugen wird im

15 folgenden beschrieben (siehe auch Abb. 10):

Ein von einer kohärenten, polarisierten (bevorzugt aus einem Laser bestehenden) Lichtquelle 35 zur Verfügung gestellter Lichtstrahl wird zunächst mit Hilfe eines Teleskops, das aus den Linsen 36 und 37 besteht, aufgeweitet. Falls die Lichtquelle durch zurückreflektiertes Licht gestört wird (wie dies typischerweise bei einem

20 Diodenlaser der Fall ist), kann nach der Lichtquelle ein optischer Isolator 38 in den Strahlengang eingebracht werden. Durch einen zwischen den Linsen 36 und 37 angebrachten Modenfilter (Lochblende) 39 werden höhere transversale Moden herausselektiert, so daß das Licht nach dem Teleskop in Form einer linear polarisierten TEM_{00} -Mode vorliegt.

25

Das zentrale Element des Aufbaus ist der hinter dem Teleskop angebrachte Polarisationskonverter 40. Dieser besteht aus mindestens drei Halbwellenplatten, die in Form von Kreissegmenten geschnitten sind und die so aneinandergesetzt werden, daß wieder eine kreisförmige Platte entsteht. Um störende Effekte zu minimieren, die

30 durch Keilwinkel zwischen den einzelnen Segmenten hervorgerufen werden, kann der Polarisationskonverter in einem transparenten Gefäß gehalten werden, das mit

Indexmatching-Öl gefüllt ist, dessen Brechungsindex gleich dem Brechungsindex des Materials ist, aus dem die Halbwellenplatten gefertigt sind. Die Hauptachsen der Halbwellenplatten sind dabei so ausgerichtet, daß die Polarisationsrichtung des einfallenden, linear polarisierten Strahls innerhalb eines jeden Segments in eine
5 Richtung gedreht wird, die radial vom Zentrum des einfallenden Lichtstrahls wegzeigt.

Abb. 11b zeigt einen Polarisationskonverter, der aus vier Halbwellenplatten 40i, 40ii, 40iii und 40iv besteht. In Abb. 11a und Abb. 11c ist die Polarisation des Strahls vor 11a hinter 11c dem Polarisationskonverter dargestellt. Die so nach dem
10 Polarisationskonverter entstandene Feldverteilung besteht aus einem Modengemisch und enthält unter anderem die gewünschte TEM_{01} - und TEM_{10} -Mode in orthogonaler Polarisation. Um diese beiden gewünschten Moden herauszuselektieren und alle anderen zu unterdrücken, wird ein Fabry-Perot-Resonator 41 als räumlicher Modenfilter benutzt. Das Teleskop und die Krümmungsradien der Spiegel, aus denen
15 der Fabry-Perot-Resonator besteht, werden dabei so aufeinander abgestimmt, daß sich ein maximaler Überlapp zwischen den zu selektierenden Moden und den zugehörigen Eigenmoden des Resonators ergibt. Um den Resonator aktiv zu stabilisieren, kann der Spiegelabstand mit Hilfe eines piezoelektrischen Verstellelements periodisch variiert werden. Das vom Resonator transmittierte Licht ist
20 dann ebenfalls periodisch in seiner Intensität moduliert. Ein Teil dieses Lichts kann benutzt werden, um mittels einer Lock-In-Regelung den Spiegelabstand ständig so nachzustellen, daß die TEM_{10} - und die TEM_{01} -Mode in Resonanz sind.

Wird eine solche radialpolarisierte Ringmode mit Hilfe einer Linse bzw. eines
25 Linsensystems 1 (siehe Abb. 3) fokussiert, so zeigt der Brennfleck ebenfalls vollständige radiale Symmetrie. Im Gegensatz dazu ist beim Brennfleck einer linear polarisierten Feldverteilung diese Symmetrie gebrochen, da durch die lineare Polarisation eine Richtung ausgezeichnet ist. Bei homogener Intensitätsverteilung und starker Fokussierung hat der Brennfleck hier die Form einer veredellten Ellipse
30 (Hundeknochen).

Unter dem Begriff Brennfleck wird hier die Energiedichteverteilung des elektrischen Feldes in der Brennebene verstanden. Bei einer fokussierten, radial polarisierten

Ringmode ist die Fläche dieses Brennflecks (von der Energiedichteverteilung eingenommene Fläche bei der Hälfte des Maximalwerts) dabei nur bei sehr starker Fokussierung (d.h. hoher numerischer Apertur des fokussierenden Elements) etwas kleiner als im Fall einer linear polarisierten Feldverteilung mit annähernd konstantem Intensitätsprofil. Die Brennfleckfläche läßt sich jedoch weiter verkleinern, wenn (wie in Abb. 4 dargestellt) eine ringförmige Blende 2 in den Strahlengang gebracht wird. Dadurch werden die niederfrequenten Komponenten des Winkelspektrums der fokussierten Feldverteilung unterdrückt.

- Abb. 5 zeigt die Abhängigkeit der Brennfleckfläche von der numerischen Apertur NA des fokussierenden Elements 1, jeweils für linear polarisierte, homogene Feldverteilung und radial polarisierte Ringmode. Bei den mit Dreieck und Kreuz gekennzeichneten Kurven treffen die Felder jeweils direkt auf das Fokussierelement, bei den anderen beiden Kurven ist eine Blende eingefügt, die nur einen ringförmigen Anteil zwischen 90% und 100% des Radius der Eingangsapertur des fokussierenden Elements passieren läßt. Bei starker Fokussierung ($NA > 0.85$) und Verwendung einer Ringblende lassen sich also mit Hilfe der radial polarisierten Ringmode Brennfleckflächen erreichen, die deutlich kleiner als die bei Beleuchtung mit linear polarisiertem Licht erzeugbaren Brennflecke sind. Zwischen das eigentliche Fokussierelement und das Objekt kann zusätzlich eine Festkörperimmersionslinse (Solid Immersion Lens) angebracht werden, die aus einem Material mit hohem Brechungsindex besteht. Da die Wellenlänge im Material um den Faktor n verkleinert ist, reduziert sich die Fläche des Brennflecks um den Faktor n^2 . Die hemisphärisch geformte Immersionslinse muß dabei so angebracht werden, daß die gekrümmte Fläche dem Fokussierelement zugewandt ist und die ebene Fläche mit der Brennebene des Systems ohne Immersionslinse zur Deckung kommt. Das beleuchtete Objekt muß sich dann allerdings in einem Abstand von der ebenen Fläche der Immersionslinse befinden, der kleiner als die Beleuchtungswellenlänge ist.
- Abb. 6 zeigt den schematischen Aufbau eines optischen Datenspeichersystems, bei dem eine Lichtquelle 3 verwendet wird, die eine radialpolarisierte Ringmode zur Verfügung stellt. Die Ringmode wird dann mittels einer Ringblende 2 gefiltert und mit Hilfe eines optischen Fokussierelements 1 auf einen Datenträger 4 fokussiert. Ein

Servo-System 5 erlaubt es, eine oder mehrere Komponenten des Fokussierelements zu bewegen und den Brennfleck dadurch exakt in eine bestimmte Tiefe im Datenträgermaterial bzw. auf die Oberfläche des Datenträgers zu fokussieren. Zum Schreiben von Informationen emittiert die Lichtquelle mit hoher Intensität. Dadurch werden Löcher in die Oberfläche der Datenschicht gebrannt bzw. andere physikalische Eigenschaften der Schicht verändert. Um Null- oder Eins-Bits schreiben zu können, wird die Intensität der Lichtquelle entweder direkt oder durch einen externen Modulator 6 moduliert. Zum Lesen der Informationen wird die Lichtquelle auf eine schwächere Intensität eingestellt, die nicht ausreicht, um die auf der Datenschicht gespeicherten Informationen zu verändern. Das vom Datenspeicher reflektierte Licht wird über einen Strahlteiler 7 auf einen Detektor 8 gelenkt, der mit einer Dekodiereinheit verbunden ist. Der Datenträger wird mit Hilfe von Stellelementen relativ zum Brennfleck bewegt und ist im einfachsten Fall in Form einer rotierenden Scheibe ausgeführt. Die Menge der auf dem Datenträger speicherbaren Information wird durch die Brennfleckgröße festgelegt. Durch die radial polarisierte Ringmode und bei Verwendung einer Ringblende 2 kann diese Fleckgröße etwa halbiert und die Speicherdichte dadurch verdoppelt werden.

Abb. 7 zeigt den schematischen Aufbau eines Lithographiesystems zum punkweisen Schreiben von Strukturen, bei dem eine Lichtquelle 3 verwendet wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt. Die Ringmode wird mittels einer Ringblende 2 gefiltert und durch ein Fokussierelement 1 auf einen mit einer lichtempfindlichen Schicht 10 versehenen Wafer 11 fokussiert. Mittels eines Servo-Systems 5 kann das Fokussierelement 1 so verschoben werden, daß der Brennfleck in der Ebene der lichtempfindlichen Schicht 10 liegt. Zum Schreiben von Strukturen wird der Wafer parallel zur Brennebene durch ein Stellelement 12 verfahren und an den entsprechenden Stellen punktwise belichtet. Die Lichtquelle kann dazu entweder direkt oder mit Hilfe eines Modulators 6 in ihrer Leistung variiert werden.

Zur Reparatur von Masken, wie sie vor allem in der Lithographie Verwendung finden, dient das in Abb. 8 skizzierte System. Die zu reparierende Maske 13, die üblicherweise aus einer Glasplatte besteht, auf die eine Chromstruktur aufgebracht ist, wird dabei mit Hilfe eines aus Mikroskopobjektiv 14, Tubuslinse 15 und Okular 16

bestehenden Mikroskops auf Defekte untersucht. Die Lichtquelle 17, die Linsen 18 und 19 sowie der Strahlteiler 20 bilden das Beleuchtungssystem. Neben der hier skizzierten Auflichtanordnung ist auch eine Beleuchtung mit Durchlichtanordnung oder Dunkelfeldbeleuchtung möglich. Über einen zweiten Strahlteiler 21 wird eine radial polarisierte Ringmode in den Strahlengang des Mikroskops eingekoppelt, die von der Lichtquelle 3 zur Verfügung gestellt wird. Nach der Filterung mit Hilfe einer Ringblende 2 wird sie vom Mikroskopobjektiv 14 auf die Maske 13 fokussiert. Bei der Inspektion der Maske arbeitet die Lichtquelle 3 mit niedriger Intensität. Mittels eines x-y-z-Verschiebeelements 22 wird die Maske so lange verschoben, bis eine schadhafte Stelle unter dem Brennfleck der Ringmode zu liegen kommt. Der Shutter 23 wird dann geschlossen und die Intensität der Lichtquelle 3 auf einen geeigneten Wert erhöht. Nach dem Öffnen des Shutters verdampft an der Stelle des Brennflecks der Ringmode überschüssiges Material (z.B. Chrom). Alternativ kann auch eine fehlende Struktur auf der Maske abgeschieden werden. Verschiebeeinheit und Maske befinden sich dazu in einem Behälter 24, das mit einem geeigneten, chromhaltigen Prozeßgas befüllt ist. Um die optischen Elemente vor Abscheidungen des Prozeßgases zu schützen wird die Maske durch ein Fenster 25 beleuchtet. Aufgrund der hohen Intensität im Brennfleck wird das Prozeßgas zersetzt und Chrom scheidet sich ab (chemische Dampfabseidung). Die gegenüber herkömmlichen Verfahren stark verkleinerte Brennfleckfläche der fokussierten Ringmode erlaubt eine präzisere und gezieltere Reparatur.

Die konfokale Mikroskopie ist ein Verfahren, bei dem ein zu untersuchendes Objekt punktweise beleuchtet und abgerastert wird und das bei transparenten Objekten (z.B. Zellen) eine dreidimensionale Vermessung erlaubt. Die laterale Ortsauflösung wird im wesentlichen durch die kleinste erzielbare Querschnittsfläche des ins Medium fokussierten Beleuchtungsstrahls begrenzt. Bei Beleuchtung mit einer fokussierten radial polarisierten Ringmode läßt sich diese Querschnittsfläche reduzieren.

Abb. 9 zeigt schematisch den Aufbau eines konfokalen Mikroskops, bei dem zur Beleuchtung des Objekts eine Lichtquelle 3 benutzt wird, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt. Nach der Filterung durch eine Ringblende 2 wird die Ringmode mittels eines Mikroskopobjektivs 26 fokussiert. Das Objekt 27 ruht auf

einem x-y-z-Verschiebeelement 28 und kann damit so positioniert werden, daß der Fokus an jedem gewünschten Punkt innerhalb des Objekts zu liegen kommt. Das im Bereich des Fokus entstehende Streulicht wird Mittels des Mikroskopobjektivs 26, des Strahlteilers 34, der Tubuslinse 29 und der Linse 30 auf einen Detektor 31 gelenkt.

5

Eine Besonderheit des konfokalen Mikroskops ist die zwischen Tubuslinse 29 und Linse 30 angebrachte Lochblende 32, die verhindert, daß Licht aus einem Bereich außerhalb des Fokus auf den Detektor gelangt. In Abb. 9 ist dies durch die gestrichelt gezeichneten Strahlen angedeutet. Für eine Vermessung wird ein Volumenelement des Objekts nach dem anderen von der Steuereinheit 33 in den Fokus verfahren und die vom Detektor 31 gemessene rückgestreute Intensität ausgewertet. Neben der in Abb. 9 dargestellten Beleuchtung in Auflicht ist auch eine Beleuchtung in Durchlichtanordnung möglich.

10

15

Abb. 12 zeigt den schematischen Aufbau eines optischen Systems, mit dessen Hilfe eine von der Lichtquelle 3 zur Verfügung gestellte radial polarisierte Ringmode auf ein Objekt 42 fokussiert werden kann. Bei dem Objekt kann es sich (wie an anderer Stelle näher beschrieben) um ein optisches Datenspeichermedium, eine Photomaske, einen mit photoempfindlichem Material beschichteten Wafer oder eine mit einem Mikroskop zu untersuchende Probe handeln.

20

Nach der Filterung mit Hilfe einer Ringblende 2 wird die Ringmode mittels eines optischen Fokussierelements 1 fokussiert. Zusätzlich ist hier eine Festkörper-Immersionlinse (sog. Solid Immersion Lens) 43 symmetrisch zur optischen Achse 44 so angebracht, daß ihre flache Unterseite dem Objekt zugewandt ist und darüberhinaus in der Ebene liegt, in der sich auch bei Abwesenheit der Immersionlinse der Brennfleck des vom Fokussierelement 1 fokussierten Lichts befindet.

25

30

In diesem Fall treffen alle vom Fokussierelement 1 ausgehenden Strahlen senkrecht auf die gekrümmte Fläche der Immersionlinse 43, so daß keine weitere Deformation der Wellenfront stattfindet. Allerdings ist die Wellenlänge des Lichts innerhalb der Immersionlinse um den Faktor n verkleinert, so daß sich die Fläche des Brennflecks

auf der flachen Seite der Immersionslinse um den Faktor n^2 verkleinert. n bezeichnet dabei die Brechzahl des Materials, aus dem die Immersionslinse gefertigt ist. Um den Vorteil der so verkleinerten Brennfleckfläche nutzen zu können, muß sich das beleuchtete Objekt allerdings in einer Entfernung von der flachen Seite der Immersionslinse befinden, die kleiner als die Beleuchtungswellenlänge ist.

Je größer die numerische Apertur des fokussierenden Elements 1 gewählt wird und je weniger achsennahe Strahlen von der Ringblende 2 durchgelassen werden, desto größer wird der Winkel α den die flachsten Strahlen zur optischen Achse einnehmen.

10 Ist die Bedingung $\sin(\alpha) > n^{-1}$ erfüllt, werden alle Strahlen an der flachen Seite der Immersionslinse total reflektiert. Am Ort des Brennflecks entsteht dann unterhalb der Immersionslinse ein rein evaneszentes Feld, das mit zunehmendem Abstand von der Immersionslinse exponentiell abfällt. Um das Objekt mit einer reproduzierbaren, konstanten Intensität zu beleuchten, muß dieses deshalb in eine exakt regelbare

15 Entfernung zur Immersionslinse gebracht werden, wozu im allgemeinen eine aufwendige Positioniereinrichtung 45 nötig ist. Wird die Immersionslinse auf ihrer gekrümmten Fläche mit einer hochreflektierenden Beschichtung 46 versehen (siehe Abb. 13), so läßt sich erreichen, daß die Intensität auf dem Objekt weniger stark vom Abstand zwischen Objekt und Immersionslinse abhängt. Die beschichtete gekrümmte

20 Fläche der Halbkugel bildet zusammen mit der flachen Unterseite, an der Totalreflexion stattfindet, einen optischen Resonator, in dem sich ein starkes elektromagnetisches Feld aufbaut, wenn das an der gekrümmten Fläche eingekoppelte Licht die Resonanzbedingung erfüllt. Befindet sich kein Objekt in der Umgebung der Unterseite der Immersionslinse, wird die Feldstärke bzw. die Zahl der

25 im Resonator gespeicherten Photonen nur durch die begrenzte Reflektivität der Spiegel und Justagefehler begrenzt. Die Amplitude der evaneszenten Wellen wird dann ebenfalls maximal. Nähert man ein Objekt an die flache Unterseite der Immersionslinse an, so wird ein Teil des dort reflektierten Lichts über das evaneszente Feld auf das Objekt ausgekoppelt (frustrierte Totalreflexion). Je näher das Objekt der

30 Grenzfläche kommt, desto mehr steigt die Amplitude des evaneszenten Feldes am Ort des Objekts an und desto mehr Licht wird auf das Objekt ausgekoppelt. Gleichzeitig sinkt durch diesen so geschaffenen Verlustkanal aber auch die Zahl der im Resonator gespeicherten Photonen und damit die Amplitude der evaneszenten Wellen, so daß

die Intensität auf dem Objekt wieder sinkt. Der Resonator wirkt also wie ein Regelkreis, der dafür sorgt, daß die Intensität auf dem Objekt wesentlich weniger empfindlich vom Abstand zwischen dem Objekt und der Immersionslinse abhängt, als im Fall der unbeschichteten Immersionslinse.

5

Abb. 14 zeigt den schematischen Aufbau eines Resonators, der aus den Spiegeln 51 und 52 sowie einem Prisma 53 besteht. Die Geometrie des Resonators und die Brechzahl n des Materials, aus dem das Prisma 53 gefertigt ist, sind dabei so gewählt, daß das im Resonator geführte Licht an der Grenzfläche zwischen der Basis des
10 Prismas und der Umgebung (typischerweise Luft) Totalreflexion erfährt. An der Stelle der Totalreflexion entstehen dann evaneszente (nicht propagierende) Wellen, deren Amplitude mit zunehmendem Abstand von der Basisfläche des Prismas exponentiell abfällt. Ein Objekt 54, das mit Hilfe eines Positionierelements 55 an die Grenzfläche angenähert wird, muß sich deshalb in einem Abstand in der Größenordnung der
15 Wellenlänge oder darunter zur Grenzfläche befinden, wenn es mit nachweisbarer Intensität beleuchtet werden soll.

Die beleuchtete Fläche auf dem Objekt wird im wesentlichen durch den Strahldurchmesser der im Resonator propagierenden Mode an der Stelle der
20 Totalreflexion bestimmt. Um das Objekt auf einer möglichst kleinen Fläche zu beleuchten, wird der Krümmungsradius und die Position der Spiegel so gewählt, daß sich die Strahltaile dieser Resonatormode an der Stelle der Totalreflexion befindet. Durch die Anwesenheit des Mediums 53 mit der Brechzahl n verringert sich die Brennfleckfläche (Querschnittsfläche der Strahltaile) zusätzlich um den Faktor n^2
25 (Immersionseffekt).

Das von einer Lichtquelle 56, die bevorzugt einen Laser umfaßt, zur Verfügung gestellte Pumplicht wird mit Hilfe einer Fokussiereinrichtung 57 in den Resonator eingekoppelt. Für eine effektive Einkopplung ist das Fokussierelement so anzupassen,
30 daß der Überlapp zwischen der Mode des Pumplichts und der angeregten Eigenmode des Resonators möglichst groß wird. Erfüllt der Resonator die Resonanzbedingung, was entweder durch eine Verstimmung der Wellenlänge des Pumplichts oder durch eine Variation der Resonatorlänge mittels eines Verstellelements 57, das an einem der

beiden Spiegel angebracht ist, geschehen kann, so baut sich im Resonator ein starkes Feld auf. Befindet sich kein Objekt in der Umgebung der Prismenbasis, erfährt das im Resonator umlaufende Licht dort vollständige Totalreflexion und die Zahl der im Resonator gespeicherten Photonen (bzw. die Feldstärke) wird nur durch die begrenzte

5 Reflektivität der Spiegel sowie Justagefehler etc. begrenzt. Die Amplitude der evaneszenten Wellen wird dann ebenfalls maximal. Nähert man ein Objekt 54 an das hier als Prisma ausgeführte Medium an, so wird ein Teil des an der Prismenbasis reflektierten Lichts auf das Objekt ausgekoppelt (frustrierte Totalreflexion). Je näher das Objekt der Grenzfläche kommt, desto mehr steigt die Amplitude der evaneszenten

10 Wellen am Ort des Objekts an und desto mehr Licht wird auf das Objekt ausgekoppelt. Gleichzeitig sinkt durch diesen so geschaffenen Verlustkanal aber auch die Zahl der im Resonator gespeicherten Photonen und damit die Amplitude der evaneszenten Wellen, so daß die Intensität auf dem Objekt wieder sinkt. Der Resonator wirkt also wie ein Regelkreis, der dafür sorgt, daß die Intensität auf dem Objekt wesentlich

15 weniger empfindlich vom Abstand zwischen dem Objekt und dem Medium (Prisma) abhängt als im Fall der Beleuchtung der Grenzfläche (Prismenbasis) unter Totalreflexion ohne zusätzlichen Resonator.

Die Lichtquelle kann auch, wie in Abb. 15 schematisch dargestellt, in den Resonator

20 integriert werden. Die Kombination aus laseraktivem Medium 59 und optischer Pumpquelle 60 bildet dann zusammen mit den Spiegeln 51 und 52 sowie der unter Totalreflexion beleuchteten Grenzfläche des Mediums 53, die als Resonator fungieren, ein Lasersystem.

25 Das Medium, an dessen Grenzfläche die Totalreflexion stattfindet kann auch, wie in Abb. 16 dargestellt, als optische Lichtleitfaser 61 ausgeführt sein. Das im Medium propagierende Licht wird dann im Gegensatz zu den oben beschriebenen Ausführungsformen nicht nur an einer Stelle total reflektiert, sondern unter periodischer Totalreflexion im Medium geführt. Der Resonator kann entweder durch

30 eine hochreflektierende Beschichtung der Faserenden gebildet werden oder durch am Faseranfang und am Faserende angebrachte Spiegel (62 und 63).

Zum Auskoppeln von Licht auf ein Objekt 54 muß der um den Faserkern 64 angebrachte Fasermantel 65, dessen Brechzahl etwas geringer ist als die des Faserkerns soweit entfernt werden, daß das Objekt 54 bis auf eine Entfernung, die kleiner als die Lichtwellenlänge ist, an die Grenzfläche zwischen Faserkern und Fasermantel, an der die evaneszenten Wellen entstehen, angenähert werden kann.

Mit Hilfe einer Lichtquelle 66 und eines Fokussiersystems 67 wird auch hier von außen Licht in den Resonator eingekoppelt. Die Faser selbst kann auch mit einem laseraktiven Material dotiert sein und optisch gepumpt werden, so daß ein Faserlaser entsteht.

Bei der in Abb. 17 dargestellten Anordnung ist der Resonator bzw. das Medium in dem die Totalreflexion stattfindet in Form einer zweidimensionalen Wellenleiterstruktur 75 ausgeführt. Diese besteht aus einer Halbkugel oder Kugelkalotte, deren äußere Schale eine höhere Brechzahl n' besitzt als der Innenbereich, der aus einem Material mit der Brechzahl n gefertigt ist. Eine solche Struktur läßt sich z.B. aus einer gläsernen Kugel herstellen, bei der in einer geeigneten Schmelze an der Kugeloberfläche die Natriumionen teilweise gegen Silberionen ausgetauscht werden und die anschließend in zwei Halbkugeln bzw. Kugelabschnitte zersägt wird. Licht, das an der flachen Seite der Halbkugel in die Schale mit der Brechzahl n' eingekoppelt wird, propagiert darin unter Totalreflexion zum Pol 76 und weiter bis zu einer dem Einkoppelpunkt gegenüberliegenden Stelle. Die flache Seite ist mit einer hochreflektierenden Beschichtung 77 versehen, so daß die äußere Schale zu einem Resonator wird. Mit Hilfe der Beleuchtungseinrichtung 78 wird auf der flachen Seite der Halbkugel bzw. Kugelkalotte Licht an allen Punkten der Schale eingekoppelt. Je weiter dieses Licht zum Pol propagiert, desto steiler wird der Winkel zwischen der Propagationsrichtung und der optischen Achse 79. Am Pol treffen alle Strahlen unter einem Winkel von 90° zur optischen Achse aufeinander. Die Halbkugel wirkt deshalb wie eine Linse mit einer numerischen Apertur von $NA = n' \cdot \sin(90^\circ) = n'$. Wie weiter oben erwähnt wurde, sinkt die auf einem Fokussierelement erzielbare minimale Brennfleckfläche mit zunehmender numerischer Apertur. Die Fläche des sich am Pol der Halbkugel ausbildenden Brennflecks ist deshalb kleiner als dies mit konventionellen Fokussierelementen (z.B.

Mikroskopobjektiven) erreicht werden kann, da diese den maximalen Aperturwinkel von 90° in der Praxis nicht erreichen.

Damit am Pol nur rein evaneszente Wellen entstehen, die auf ein in Polnähe befindliches Objekt 54 ausgekoppelt werden können, darf das von der Beleuchtungseinrichtung kommende Licht nur in den Bereich der Schalenstruktur mit der Brechzahl n' und nicht in den Innenbereich mit der Brechzahl n eingekoppelt werden. Dies kann am einfachsten durch eine zwischen Halbkugel und Lichtquelle angebrachte Blende 80 geschehen, die alles Licht absorbiert, das auf den Innenbereich der Halbkugel treffen würde. Alternativ kann auch die flache Seite der Halbkugel im Innenbereich mit einer absorbierenden Schicht versehen werden. Eine besonders kleine Brennfleckfläche läßt sich durch die Einkopplung einer radial polarisierten Ringmode erreichen. Für eine effiziente Einkopplung in die Schalenstruktur befindet sich zwischen der Beleuchtungseinrichtung, die eine radial polarisierte Ringmode zur Verfügung stellt, und dem Resonator ein geeignetes diffraktives Element 81, das dafür sorgt, daß der Hauptteil der von der Lichtquelle emittierten Lichts auf die Schalenstruktur gelenkt wird. Die äußere Schale der Halbkugel kann auch bei dieser Ausführungsform aus einem laseraktiven Material bestehen. Der daraus entstehende Laserresonator muß dann ebenfalls von außen optisch gepumpt werden.

Patentansprüche:

1. Einrichtung zum Fokussieren von Licht auf ein Objekt, mit mindestens einer vorzugsweise von einem Laser gebildeten Lichtquelle, mit wenigstens einem
5 optischen Fokussierelement und einer Einrichtung zum Festlegen der relativen Lage von Fokussierelement und Objekt, dadurch gekennzeichnet, daß das durch das Fokussierelement gesandte Licht in Form einer radial polarisierten Ringmode vorliegt.
- 10 2. Einrichtung nach Anspruch 1, gekennzeichnet durch ein strahlformendes Element zum Erzeugen einer radial polarisierten Ringmode aus mindestens einer einfallenden linear polarisierten Welle mit vorzugsweise gaußförmiger Intensitätsverteilung.
- 15 3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß das genannte strahlformende Element einen Polarisationskonverter enthält, der aus mindestens drei Halbwellenplatten besteht, die im wesentlichen senkrecht zur
Ausbreitungsrichtung des auf den Polarisationskonverter treffenden Lichtstrahls in einer Segmentanordnung angebracht sind, so daß die von den Halbwellenplatten
20 eingenommene Fläche den wesentlichen Teil des Strahlquerschnitts ausmacht und deren Halbachsen jeweils so ausgerichtet sind, daß die Polarisationsrichtung des einfallenden Lichts innerhalb einer jeden Platte in eine Richtung gedreht wird, die radial vom Zentrum des einfallenden Lichtstrahls wegzeigt.
- 25 4. Einrichtung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß genannter Polarisationskonverter in einem im Bereich des einfallenden und auslaufenden Lichtstrahls transparenten Gefäß gelagert ist, das ganz oder teilweise mit einem Medium ausgefüllt ist, dessen Brechungsindex größer als der von Luft und im wesentlichen gleich dem Brechungsindex des Materials ist, aus dem die
30 Halbwellenplatten gefertigt sind.
5. Einrichtung nach Anspruch 3, bestehend aus einem hinter dem Polarisationskonverter angeordneten Filterelement, bevorzugt in Form eines

optischen Resonators, dadurch gekennzeichnet, daß die Transmission des genannten Filterelements nur für die TEM_{0m} - und die TEM_{m0} -Mode (m ungerade) einer auf das Filterelement treffenden elektromagnetischen Feldverteilung wesentlich von Null verschieden ist.

5

6. Einrichtung nach Anspruch 1 mit mindestens einer vor oder hinter einem dem Fokussierelement angeordneten Blende, dadurch gekennzeichnet, daß die Blende als Ringlochblende ausgebildet ist und nur einen ringförmigen Teil des auf die Blende treffenden Lichts passieren läßt.

10

7. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das von der fokussierten, radial polarisierten, ringförmigen Feldverteilung beleuchtete Objekt ein optisches oder magnetooptisches Datenspeichermedium ist.

15

8. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß genannte Einrichtung die Beleuchtungseinrichtung für ein mit Hilfe eines Mikroskops punktweise betrachtetes Objekt bildet.

20

9. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das beleuchtete Objekt aus einem mit lichtempfindlichem Material beschichteten Substrat besteht.

25

10. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß das beleuchtete Objekt aus einem Material besteht, das am Ort des Brennflecks unter dem Einfluß der Beleuchtung verdampft oder auf dem mittels chemischer Dampfabcheidung Material angelagert wird.

30

11. Einrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, gekennzeichnet durch, eine Festkörper-Immersionlinse, durch welche das in Form einer radial polarisierten Ringmode vorliegende Licht auf das Objekt gelangt.

12. Einrichtung zum Auskoppeln von Licht auf ein Objekt, bei der das Licht in einem optisch dichteren Medium an einer Grenzfläche total reflektiert wird und das

Objekt mit einem unter der Wellenlänge liegenden Abstand von der Grenzfläche angeordnet ist nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß ein Resonator vorgesehen ist, in dessen Strahlengang das optisch dichtere Medium angeordnet ist, wobei das im Resonator geführte Licht an der Grenzfläche total reflektiert und teilweise auf das Objekt ausgekoppelt wird, wobei das in den Resonator eingekoppelte bzw. im Resonator geführte Licht in Form einer radial polarisierten Ringmode vorliegt.

13. Einrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß eine Beleuchtungseinrichtung vorgesehen ist, die Licht in Form einer Ringmode zur Verfügung stellt, das in den Resonator eingekoppelt wird.
14. Einrichtung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß eine Blende vorgesehen ist, die nur einen ringförmigen Teil des auf die Blende treffenden Lichts zum Resonator passieren läßt.
15. Einrichtung nach Anspruch 13 oder 14, dadurch gekennzeichnet, daß im Strahlengang vor dem Resonator mindestens ein geeignetes diffraktives Element angebracht ist, so daß ein wesentlicher Teil der in genannter Ringmode enthaltenen Lichtleistung auf die Wellenleiterstruktur des Resonators gelenkt und eingekoppelt wird.
16. Einrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, daß genannter Resonator Teil eines Laserresonators ist und ein laseraktives Medium im Strahlengang des Resonators angebracht ist.
17. Einrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator von einer ganz oder teilweise mit einer reflektierenden Beschichtung versehenen Festkörper-Linse gebildet ist.
18. Einrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das optisch dichtere Medium im wesentlichen in Form einer Halbkugel oder Kugelkalotte gefertigt ist, und daß das im Resonator geführte Licht in das Medium

an dessen gekrümmter Fläche eintritt und die flache Seite der Halbkugel die dem Objekt zugewandte Grenzfläche bildet, an der das Licht total reflektiert und teilweise auf das Objekt ausgekoppelt wird.

- 5 19. Einrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß der in Form einer Halbkugel bzw. Kugelkalotte gefertigter Resonator an seiner gekrümmten Fläche ganz oder teilweise mit einer hochreflektierenden Beschichtung versehen ist.
- 10 20. Einrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß das optisch dichtere Medium aus einer optischen Lichtleitfaser besteht, wobei der um den Faserkern angebrachte Fasermantel an der Stelle der Auskopplung eine Dicke besitzt, die kleiner als die Lichtwellenlänge ist.
- 15 21. Einrichtung nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die Lichtleitfaser ganz oder teilweise aus einem laseraktiven Material gefertigt ist, und daß eine Einrichtung zum optischen Pumpen des laseraktiven Materials vorgesehen ist.
- 20 22. Einrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator aus einem zweidimensionalen Wellenleiter besteht, der im wesentlichen in Form einer Halbkugel oder Kugelkalotte gefertigt ist, und daß die Brechzahl im äußeren Bereich einen größeren Wert hat als im Innenbereich und das im Resonator geführte Licht auf der flachen Seite, die ganz oder teilweise mit einer hochreflektierenden Schicht versehen ist, in den Resonator eingekoppelt und in der Umgebung des Pols teilweise auf ein Objekt ausgekoppelt wird.
- 25 23. Einrichtung nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, daß der Resonator auf der gekrümmten Fläche ganz oder teilweise mit einer hochreflektierenden Beschichtung versehen ist.
- 30 24. Einrichtung nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, daß die äußere Schicht der Halbkugel oder Kugelkalotte, die den zweidimensionalen Wellenleiter bildet, aus einem laseraktiven Material gefertigt ist, und daß eine Vorrichtung zum optischen Pumpen des genannten laseraktiven Materials vorgesehen ist.

Fig. 1

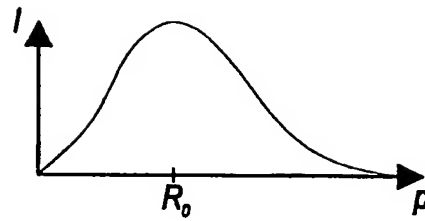


Fig. 2

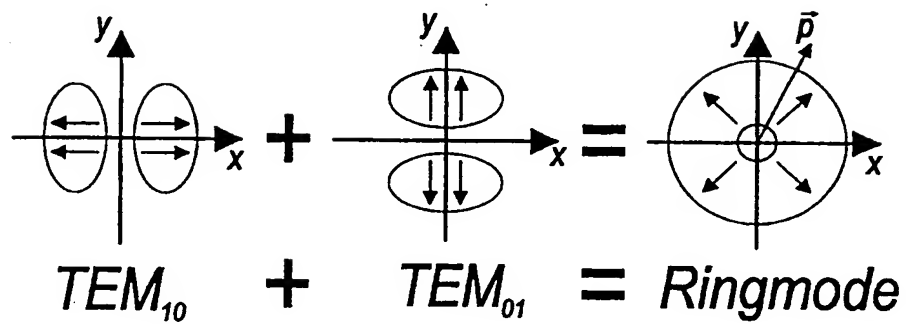


Fig. 3

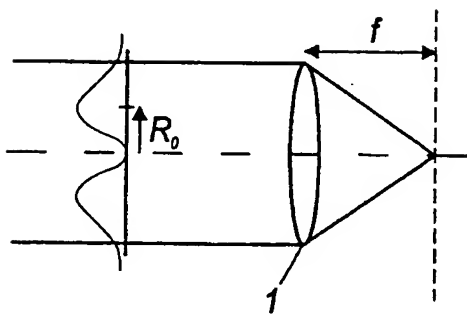


Fig. 4

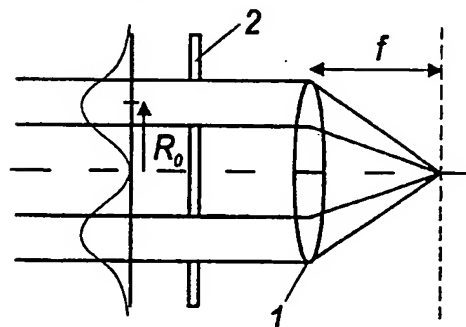


Fig. 5

2/7

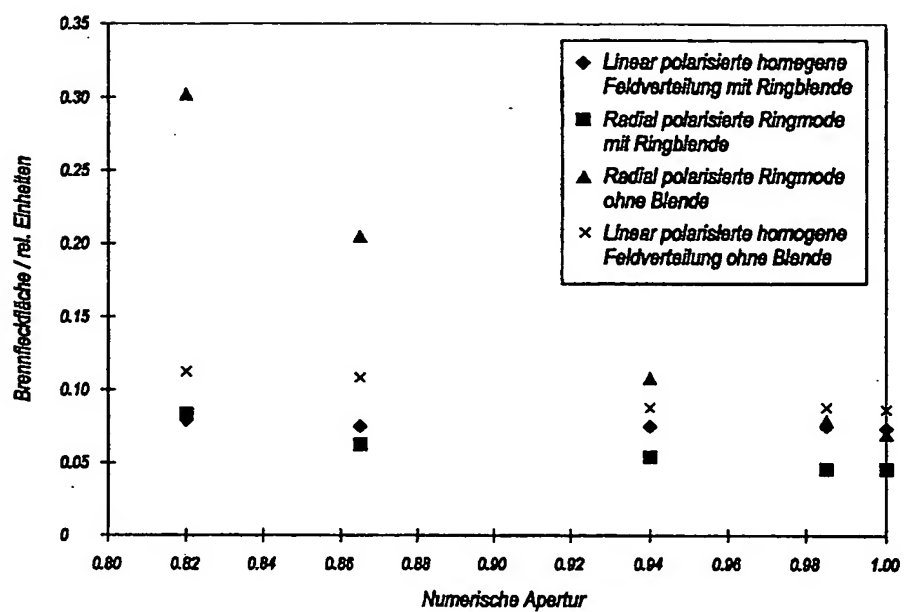


Fig. 6

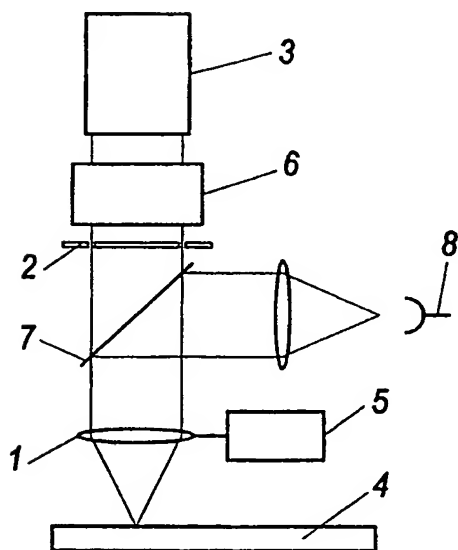
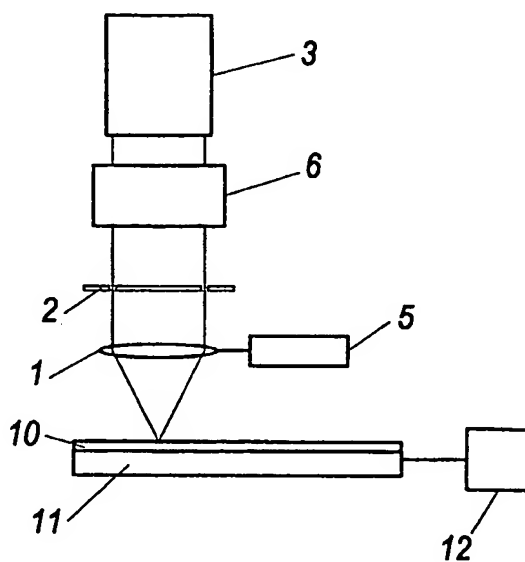


Fig. 7



3/7

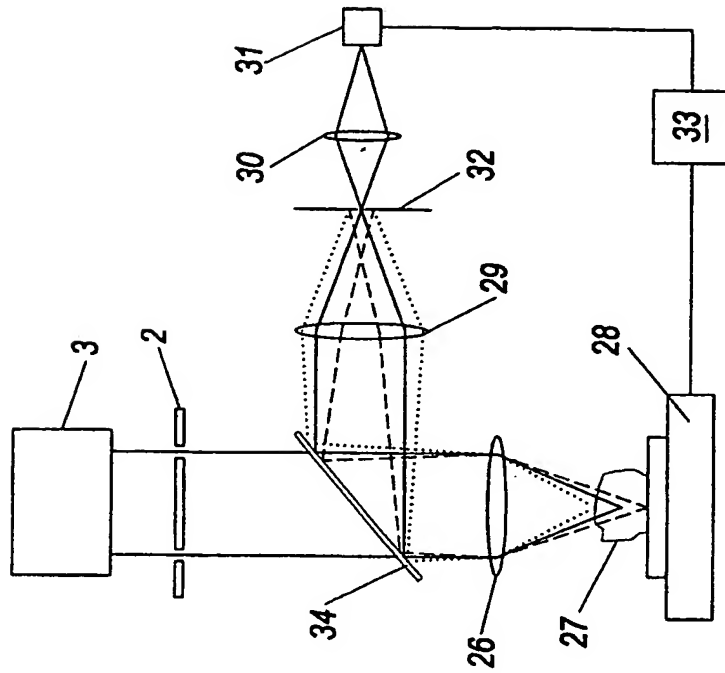


Fig. 9

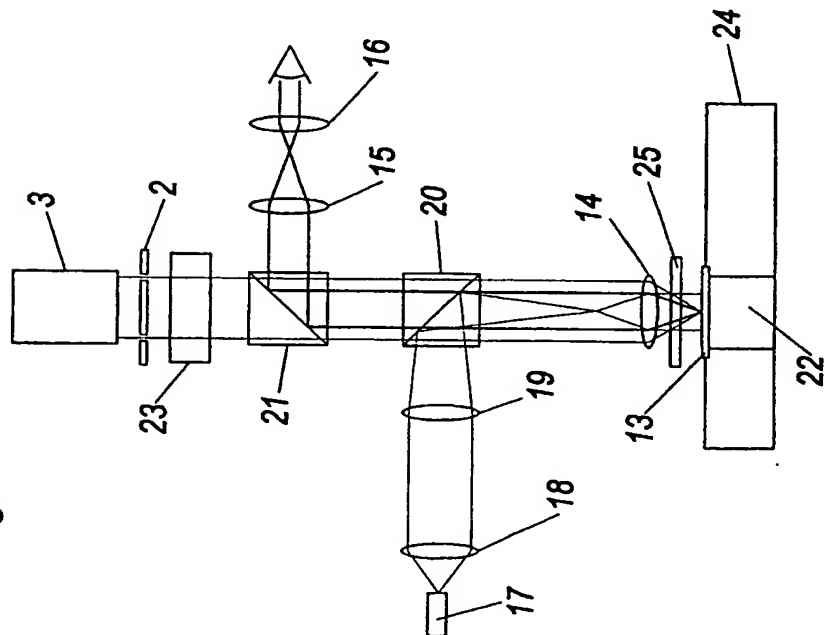
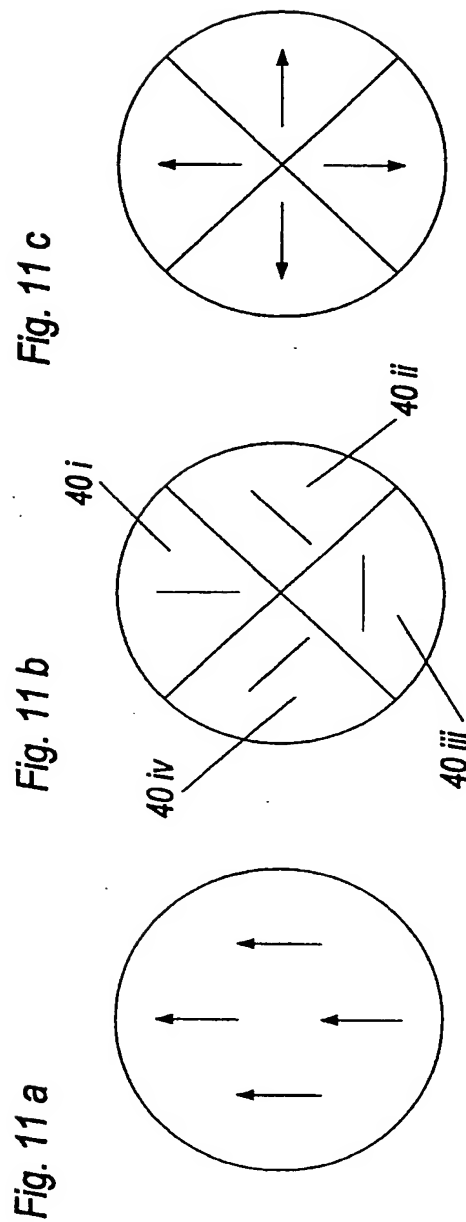
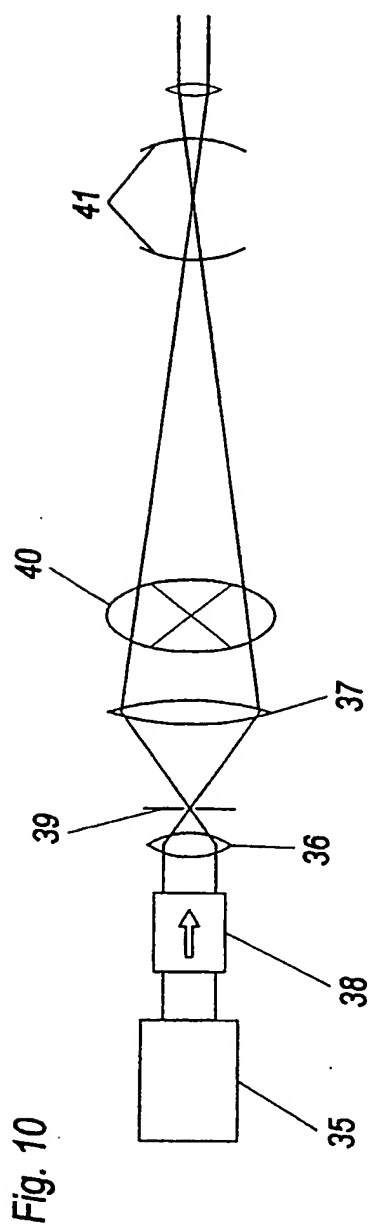


Fig. 8



5/7

Fig. 13

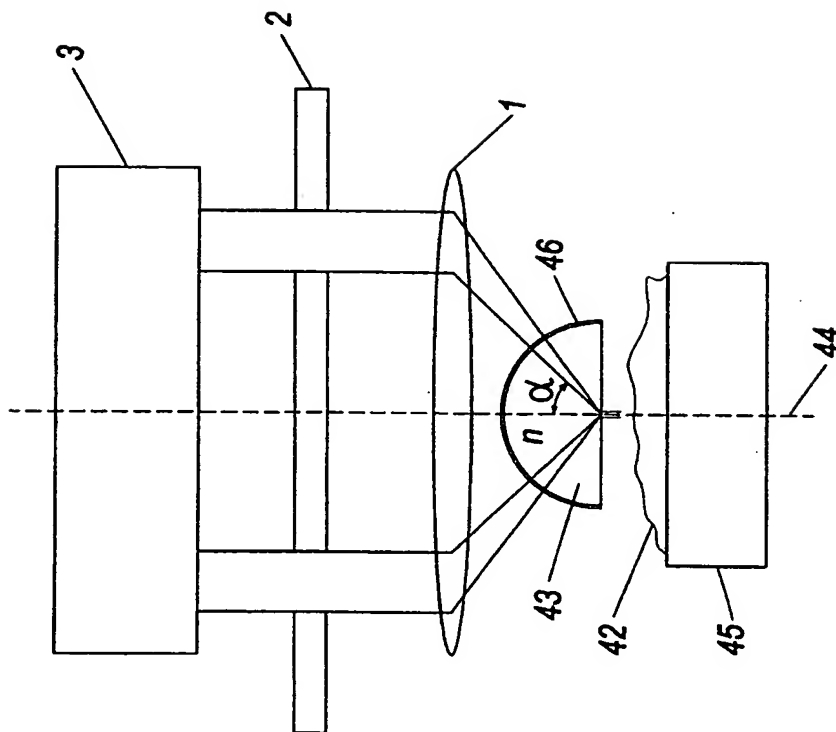
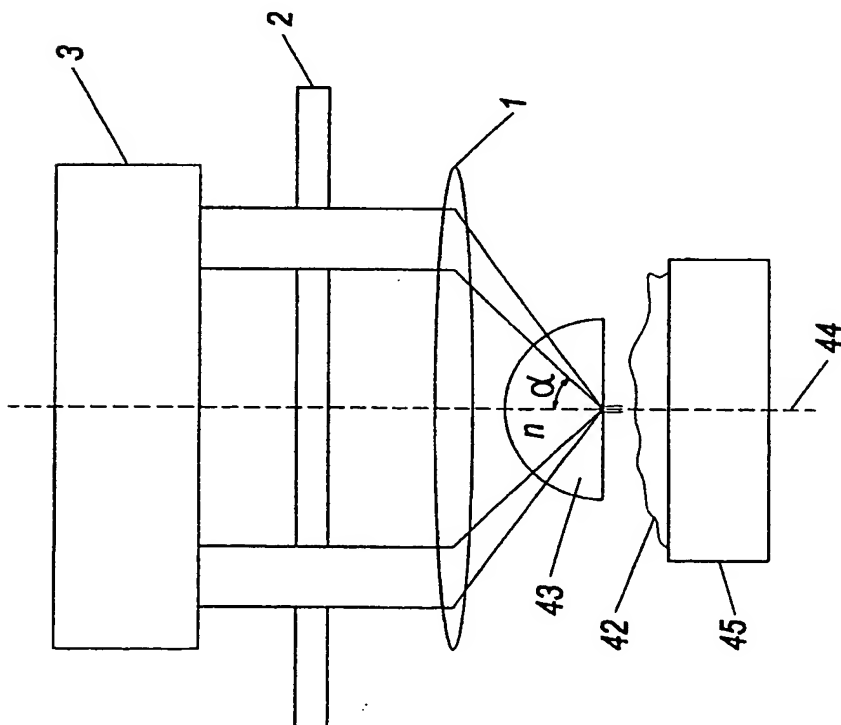


Fig. 12



6/7

Fig. 14

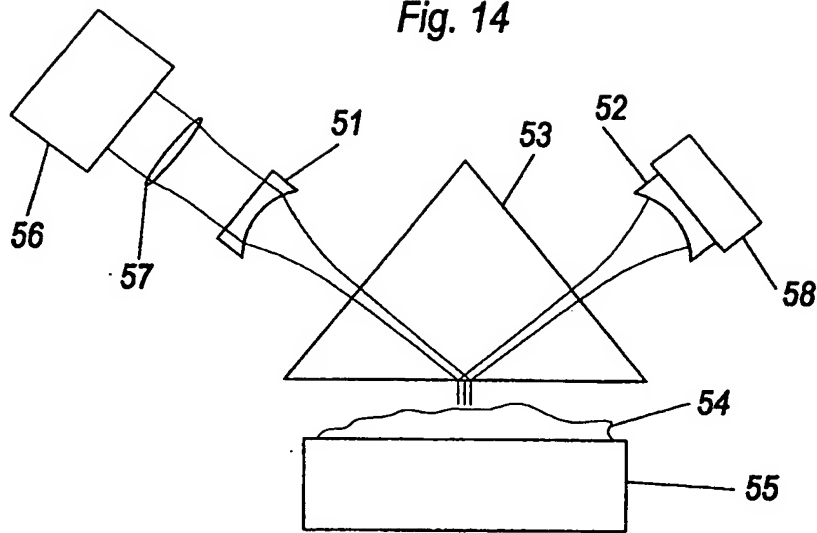


Fig. 15

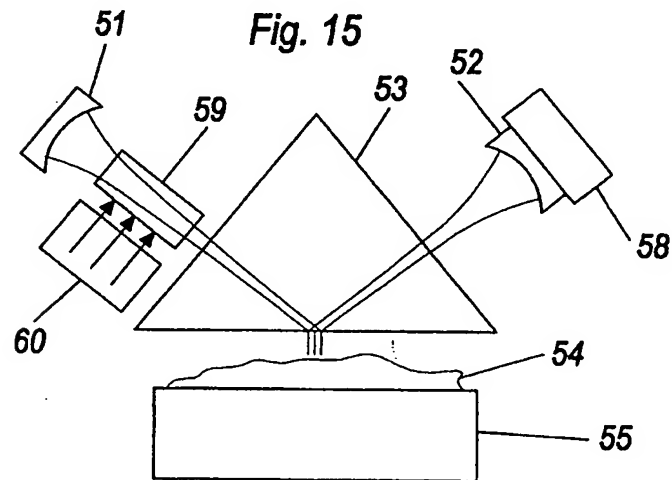


Fig. 16

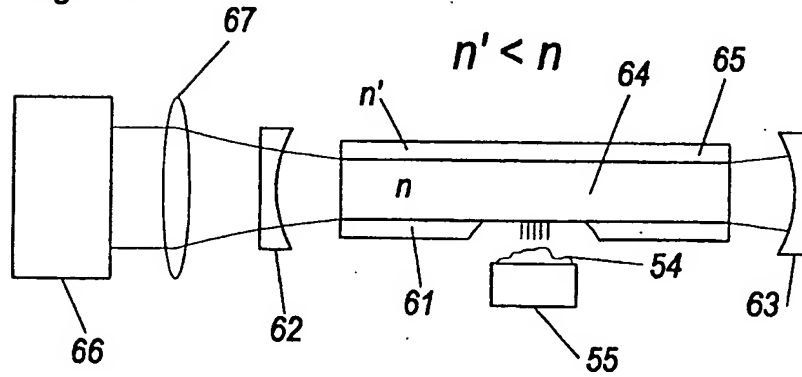
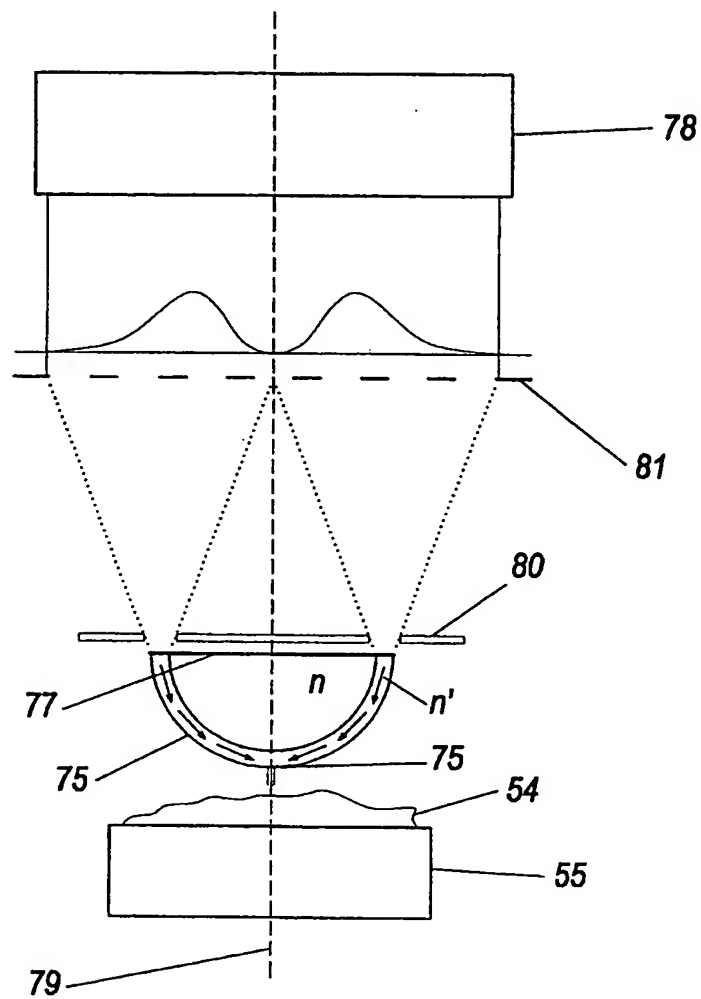


Fig. 17



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 00/07672

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

IPC 7 G02B21/00 G11B11/105 G03F7/20

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 G02B G11B G03F

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, PAJ

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 764 858 A (ZEISS CARL ; ZEISS STIFTUNG (DE)) 26 March 1997 (1997-03-26)	1-3,6-10
Y	column 2, line 29 - column 3, line 21 column 4, line 34 - column 5, line 3 column 6, line 17 - column 7, line 4	11-15, 17-20
Y	US 5 796 487 A (GUERRA JOHN M) 18 August 1998 (1998-08-18) column 4, line 58 - line 60 column 11, line 8 - line 29 column 11, line 46 - line 53	12-15, 17-20
Y	US 5 125 750 A (CORLE TIMOTHY R ET AL) 30 June 1992 (1992-06-30) cited in the application	11
A	abstract	12
	-/--	

☒ Further documents are listed in the continuation of box C.

☒ Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents:

- *A* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- *E* earlier document but published on or after the international filing date
- *L* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- *T* later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- *X* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- *Y* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.
- *&* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

8 January 2001

Date of mailing of the international search report

12/01/2001

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Mollenhauer, R

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/EP 00/07672

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 5 677 755 A (OSHIDA YOSHITADA ET AL) 14 October 1997 (1997-10-14) column 13, line 3 - line 48 column 14, line 4 - line 30 -----	1-3,6-10
X	US 5 559 583 A (TANABE HIROYOSHI) 24 September 1996 (1996-09-24) column 3, line 1 - line 45 column 9, line 30 - line 52 -----	1-3,6,7, 9,10
X	US 5 365 371 A (KAMON KAZUYA) 15 November 1994 (1994-11-15) column 1, line 58 -column 2, line 26 -----	1,2,8,9
X	EP 0 357 780 A (MATSUSHITA COMMUNICATION IND) 14 March 1990 (1990-03-14) claim 14 -----	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 626 (P-1647), 18 November 1993 (1993-11-18) & JP 05 203879 A (NIKON CORP), 13 August 1993 (1993-08-13) abstract -----	12-22
A	US 5 220 403 A (BATCHELDER JOHN S ET AL) 15 June 1993 (1993-06-15) column 7, line 4 - line 19 column 13, line 25 - line 37 -----	12-24
A	US 5 359 622 A (SHIH CHUN-CHING) 25 October 1994 (1994-10-25) abstract -----	16
A	WO 98 18122 A (UNIV LELAND STANFORD JUNIOR) 30 April 1998 (1998-04-30) cited in the application abstract -----	1,12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 00/07672

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0764858 A	26-03-1997	DE 19535392 A JP 9184918 A	27-03-1997 15-07-1997
US 5796487 A	18-08-1998	NONE	
US 5125750 A	30-06-1992	JP 2553275 B JP 5189796 A	13-11-1996 30-07-1993
US 5677755 A	14-10-1997	JP 7176476 A KR 166612 B	14-07-1995 01-02-1999
US 5559583 A	24-09-1996	JP 7235474 A JP 2836483 B JP 7307268 A KR 173168 B	05-09-1995 14-12-1998 21-11-1995 20-03-1999
US 5365371 A	15-11-1994	JP 2796005 B JP 5226225 A US 5436761 A	10-09-1998 03-09-1993 25-07-1995
EP 0357780 A	14-03-1990	DE 3852307 D DE 3852307 T KR 9206309 B DE 68921065 D DE 68921065 T EP 0394461 A WO 8906424 A WO 9001768 A JP 2543209 B JP 2543210 B KR 9302165 B US 4991919 A US 5200939 A	12-01-1995 01-06-1995 03-08-1992 23-03-1995 28-09-1995 31-10-1990 13-07-1989 22-02-1990 16-10-1996 16-10-1996 27-03-1993 12-02-1991 06-04-1993
JP 05203879 A	13-08-1993	NONE	
US 5220403 A	15-06-1993	US 5208648 A EP 0503236 A JP 1987116 C JP 5157701 A JP 7018806 B	04-05-1993 16-09-1992 08-11-1995 25-06-1993 06-03-1995
US 5359622 A	25-10-1994	NONE	
WO 9818122 A	30-04-1998	US 5859814 A AU 4825297 A	12-01-1999 15-05-1998

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07672

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES IPK 7 G02B21/00 G11B11/105 G03F7/20		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK		
B. RECHERCHIERTE GEBIETE Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole) IPK 7 G02B G11B G03F		
Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal, PAJ		
C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 764 858 A (ZEISS CARL ; ZEISS STIFTUNG (DE)) 26. März 1997 (1997-03-26)	1-3, 6-10
Y	Spalte 2, Zeile 29 - Spalte 3, Zeile 21 Spalte 4, Zeile 34 - Spalte 5, Zeile 3 Spalte 6, Zeile 17 - Spalte 7, Zeile 4	11-15, 17-20
Y	US 5 796 487 A (GUERRA JOHN M) 18. August 1998 (1998-08-18) Spalte 4, Zeile 58 - Zeile 60 Spalte 11, Zeile 8 - Zeile 29 Spalte 11, Zeile 46 - Zeile 53	12-15, 17-20
Y	US 5 125 750 A (CORLE TIMOTHY R ET AL) 30. Juni 1992 (1992-06-30) in der Anmeldung erwähnt	11
A	Zusammenfassung	12
-/-		
<input checked="" type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen		<input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : *A* Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist *E* älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist *L* Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) *O* Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht *P* Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist *T* Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist *X* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden *Y* Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist *Z* Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist		
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 8. Januar 2001		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 12/01/2001
Name und Postanschrift der internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Mollenhauer, R

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07672

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 5 677 755 A (OSHIDA YOSHITADA ET AL) 14. Oktober 1997 (1997-10-14) Spalte 13, Zeile 3 - Zeile 48 Spalte 14, Zeile 4 - Zeile 30 ---	1-3,6-10
X	US 5 559 583 A (TANABE HIROYOSHI) 24. September 1996 (1996-09-24) Spalte 3, Zeile 1 - Zeile 45 Spalte 9, Zeile 30 - Zeile 52 ---	1-3,6,7, 9,10
X	US 5 365 371 A (KAMON KAZUYA) 15. November 1994 (1994-11-15) Spalte 1, Zeile 58 - Spalte 2, Zeile 26 ---	1,2,8,9
X	EP 0 357 780 A (MATSUSHITA COMMUNICATION IND) 14. März 1990 (1990-03-14) Anspruch 14 ---	1
A	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 017, no. 626 (P-1647), 18. November 1993 (1993-11-18) & JP 05 203879 A (NIKON CORP), 13. August 1993 (1993-08-13) Zusammenfassung ---	12-22
A	US 5 220 403 A (BATCHELDER JOHN S ET AL) 15. Juni 1993 (1993-06-15) Spalte 7, Zeile 4 - Zeile 19 Spalte 13, Zeile 25 - Zeile 37 ---	12-24
A	US 5 359 622 A (SHIH CHUN-CHING) 25. Oktober 1994 (1994-10-25) Zusammenfassung ---	16
A	WO 98 18122 A (UNIV LELAND STANFORD JUNIOR) 30. April 1998 (1998-04-30) in der Anmeldung erwähnt Zusammenfassung -----	1,12

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 00/07672

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0764858 A	26-03-1997	DE 19535392 A JP 9184918 A	27-03-1997 15-07-1997
US 5796487 A	18-08-1998	KEINE	
US 5125750 A	30-06-1992	JP 2553275 B JP 5189796 A	13-11-1996 30-07-1993
US 5677755 A	14-10-1997	JP 7176476 A KR 166612 B	14-07-1995 01-02-1999
US 5559583 A	24-09-1996	JP 7235474 A JP 2836483 B JP 7307268 A KR 173168 B	05-09-1995 14-12-1998 21-11-1995 20-03-1999
US 5365371 A	15-11-1994	JP 2796005 B JP 5226225 A US 5436761 A	10-09-1998 03-09-1993 25-07-1995
EP 0357780 A	14-03-1990	DE 3852307 D DE 3852307 T KR 9206309 B DE 68921065 D DE 68921065 T EP 0394461 A WO 8906424 A WO 9001768 A JP 2543209 B JP 2543210 B KR 9302165 B US 4991919 A US 5200939 A	12-01-1995 01-06-1995 03-08-1992 23-03-1995 28-09-1995 31-10-1990 13-07-1989 22-02-1990 16-10-1996 16-10-1996 27-03-1993 12-02-1991 06-04-1993
JP 05203879 A	13-08-1993	KEINE	
US 5220403 A	15-06-1993	US 5208648 A EP 0503236 A JP 1987116 C JP 5157701 A JP 7018806 B	04-05-1993 16-09-1992 08-11-1995 25-06-1993 06-03-1995
US 5359622 A	25-10-1994	KEINE	
WO 9818122 A	30-04-1998	US 5859814 A AU 4825297 A	12-01-1999 15-05-1998